

世界初、ワット級高出力動作の深紫外 LED 小型ハンディ照射機の開発に成功

～ワット級深紫外 LED ハンディ機によって広範囲のウイルスを迅速に不活性化～

【ポイント】

- 世界初、光出力 8 W^{ワット}を超えるワット級の波長 265 nm 帯高出力深紫外 LED ハンディ照射機を実証
- 高強度深紫外 LED をマルチチップ実装することで、どこにでも持ち運べる小型ハンディ機を実現
- 広範囲のウイルスを 30 秒以下で 99.99 %以上不活性化でき、感染拡大防止や公衆衛生の向上に貢献

国立研究開発法人情報通信研究機構エヌアイシーティー(NICT、理事長: 徳田 英幸)未来 ICT 研究所の井上 振一郎室長らの研究グループは、8 W^{ワット}を超えるワット級の深紫外 LED^{*1} ハンディ照射機の開発に世界で初めて成功しました。発光波長 265 nm 帯の高強度深紫外 LED をマルチチップ実装しバッテリーで駆動させることで、どこにでも持ち運べる小型ハンディ機を実現しました。

今回開発した深紫外 LED ハンディ照射機を用いて、豚コロナウイルス(PEDV)^{*2}に対する定量的な照射効果を評価した結果、広範囲(直径 100 cm 内)のウイルスを極めて短い照射時間(30 秒以下)で 99.99 %以上不活性化できることを明らかにしました。

本成果は、ワット級高出力動作の深紫外 LED ハンディ照射機により、広範囲のウイルスに対し、短時間の照射で極めて高いウイルス不活性化率を達成した世界初の実証例となります。病院や公共・商業施設、交通機関など幅広い場面での実用性・汎用性の高い殺菌応用が期待されるほか、これまで液体消毒薬剤の散布が難しかった場所の迅速な殺菌・消毒など、新型コロナウイルスの感染拡大防止や公衆衛生の向上に革新をもたらす技術として期待されます。

※本研究成果の一部は、総務省令和 2 年度補正予算事業「高強度深紫外 LED の活用による新型コロナウイルス等の殺菌用光照射機材の実用化事業」の一環として得られました。

【背景】

深紫外光と呼ばれる、極めて強い殺菌作用を持つ光を発する深紫外 LED(発光ダイオード)に高い関心が集まっています。NICT では、東京大学医科学研究所と共同で、発光波長 265 nm 帯の深紫外 LED が、液体中並びにエアロゾル中の新型コロナウイルス(SARS-CoV-2)に対して極めて高い不活性化効果を有することを世界で初めて定量的に明らかにしました(2022 年 3 月 18 日の報道発表参照)。これにより、深紫外 LED は、接触感染やエアロゾル感染を介した感染拡大を抑制するための画期的なツールとして期待されていました。

深紫外光を用いたウイルス殺菌応用においては、深紫外 LED から発せられるパワー(光出力)をどれだけ高められるかが実用上、最も重要なファクターとなります。しかし、これまでの深紫外 LED を用いたハンディ照射機は、光出力が小さなものしかなく(数十 mW^{ミリワット}程度)、短い時間で殺菌しようとした場合、殺菌できる有効範囲が直径数 cm 程度内に限られるなど、パワーを必要とする殺菌応用においては、その実用性に問題がありました。

このため、従来、広範囲の殺菌などに向けた高出力用途の深紫外光源としては、水銀ランプ^{*3} が主に用いられてきました。しかし、水銀ランプは、人の健康や環境に有害な水銀を含み、2017 年発効の「水銀に関する水俣条約」により、その廃絶に向けた国際的な取組が加速しています。また、水銀ランプやエキシマランプ等のガス放電式ランプは、ガスを封入するガラス管が割れやすく、光源のサイズや駆動電源が大掛かりとなるなど、持ち運びに不向きで、その利用範囲は限定されていました。

このような背景から、水銀を使用せず、どこにでも持ち運びできる小型ハンディ機で、広範囲のウイルスを迅速に殺



今回開発したワット級の深紫外 LED ハンディ照射機

菌

菌可能な高出力深紫外 LED ハンディ照射機の開発が切望されていました。

NICT の当研究グループは、これまで、高出力な深紫外 LED の研究開発とその実用化に向けた取組を積極的に推進してきました。内部光吸収や光出力飽和現象(効率ドロープ)の抑制を可能とするナノ光構造技術を基盤とした深紫外 LED の研究により、深紫外 LED の単チップ当たりの世界最高出力の記録を何度も大幅に更新(光出力 500 mW 超)するなど、本分野をリードする成果を発表してきました(2022 年 3 月 18 日、2017 年 4 月 4 日及び 2015 年 4 月 1 日の報道発表参照)。NICT は、低環境負荷で、小型、高出力な深紫外 LED の実現に大きく貢献しています。

【今回の成果】

今回、最も殺菌性能の高い波長 265 nm 帯の発光ピークを示す高強度深紫外 LED チップ技術を用いて、LED チップを高放熱実装基板に高密度マルチチップ実装することにより、光出力 8 W を超えるワット級高出力動作の深紫外 LED ハンディ照射機を世界に先駆け開発することに成功しました(補足資料 図 1、2 参照)。高強度深紫外 LED 技術により、実装基板や駆動電源、バッテリーも含めて全て小型化、筐体内に収納することが可能となり、どこにでも持ち運べるワット級の小型ハンディ機を実現しました。

続いて、今回開発した深紫外 LED ハンディ照射機を用いて、豚コロナウイルス(PEDV)に対する照射効果を評価しました。ウイルス液を滴下した複数のシャーレを同心円状に均等に配置し、その真上から光出力を 5 W に設定し深紫外光を照射しました(補足資料 図 3 参照)。ウイルス試験については外部検査機関に照射機を持ち込んで実験を行い、照射後のウイルス液を直ちに回収し TCID₅₀ 法^{*4}によりウイルスカ価(感染性を有するウイルス量)を測定しました。

その結果、直径 30 cm の範囲内のウイルスへの深紫外光照射の場合、0.97 秒の照射で 99.9 %、3 秒の照射で 99.99 %のウイルスが不活性化されました。また、より広い直径 100 cm の範囲内のウイルスへの深紫外光照射の場合、12.86 秒の照射で 99.9 %、27.17 秒の照射で 99.99 %のウイルスが不活性化されました(補足資料 図 4 及び表 1 参照)。

ワット級光出力の 265 nm 帯深紫外 LED ハンディ照射機を実現することにより、広範囲(直径 100 cm 内)のウイルスを非常に短い照射時間(30 秒以下)で 99.99 %以上不活性化できることを初めて実証しました。これまでは、持ち運びできる高出力な小型照射機がなく、広範囲のウイルスを短時間で殺菌することは不可能で、利用可能なシーンは限られていましたが、本成果により、深紫外光を活用した殺菌応用の可能性が飛躍的に広がり、その社会普及を一段と加速させる技術として期待されます。

【今後の展望】

今回の成果は、ワット級高出力動作の深紫外 LED ハンディ照射機を実現し、広範囲のウイルスに対し、短時間の照射で極めて高いウイルス不活性化率を達成した世界初の実証例となります。これまで液体薬剤の散布が難しかった場所の迅速で利便性の高い殺菌・消毒や、病院・商業施設・公共交通機関など幅広い場面、場所での実用性・汎用性の高い殺菌応用に貢献するものであり、新型コロナウイルスの感染拡大防止や公衆衛生の向上に革新をもたらす技術として期待されます(補足資料 図 5 参照)。

深紫外光技術は、殺菌から医療、環境、工業、ICT 分野に至るまで幅広い分野の生活・社会インフラに画期的な技術革新をもたらすことが期待されています。NICT では、深紫外光デバイス技術の研究開発を通じた新規産業の創出、安心安全で持続可能な社会づくりへの貢献を目指していきます。

<関連する過去の報道発表>

- ・2022 年 3 月 18 日「高出力深紫外 LED(265nm 帯)によりエアロゾル中の新型コロナウイルスの高速不活性化に成功」
<https://www.nict.go.jp/press/2022/03/18-1.html>
- ・2017 年 4 月 4 日「150mW 超(発光波長 265nm)世界最高出力の深紫外 LED の開発に成功」
<https://www.nict.go.jp/press/2017/04/04-1.html>
- ・2015 年 4 月 1 日「世界最高出力(90mW 超)の深紫外 LED の開発に成功」
<https://www.nict.go.jp/press/2015/04/01-2.html>

< 本件に関する問合せ先 >

国立研究開発法人情報通信研究機構
未来 ICT 研究所 神戸フロンティア研究センター
深紫外光 ICT 研究室
井上 振一郎
E-mail: s_inoue@nict.go.jp

< 広報(取材受付) >

広報部 報道室
E-mail: publicity@nict.go.jp

<用語解説>

*1 深紫外 LED

おおむね 200～300 nm の波長帯(深紫外領域)の光を発する半導体発光ダイオード(LED: light-emitting diode)のこと。深紫外光を照射することにより、塩素などの薬剤を用いずに、細菌やウイルスを効果的に殺菌・不活性化することができる。特に、265 nm 帯の深紫外光は、DNA/RNA の吸収ピークと重なるため、ウイルスの不活性化に対して最も効果的である。深紫外 LED のウイルス不活性化用途における実用化の際には、人体への安全性を確保するために、皮膚や目への直接の照射を避ける運用が必要である。

*2 豚コロナウイルス(PEDV)

コロナウイルスの一種であり、コロナウイルス科 α コロナウイルス属に分類される豚コロナウイルス(PEDV: Porcine epidemic diarrhea virus)。試験では Vero 細胞で培養した P-5 株を使用した。

*3 水銀ランプ

水銀ガスを閉じ込めたガラス管内でアーク放電を起こし発光させる光源。254 nm や 365 nm などの輝線を発し、深紫外領域における最も代表的な光源で、様々な産業、用途において用いられている。しかし、2017 年に「水銀に関する水俣条約」が発効され、人体・環境に有害な水銀の削減・廃絶に向けた国際的な取組が加速している。

*4 TCID₅₀ 法

感染性のウイルス量を測定するための手法の一つ。ウイルス試験は外部検査機関で実施した。深紫外光を照射後、直ちにウイルス液を回収し 10 倍階段希釈した後、Vero 細胞で培養した。培養後の細胞変性効果の有無からウイルス力価(TCID₅₀/mL)を算出した。培養した細胞のうち半数が感染した濃度を TCID₅₀(50 % Tissue Culture Infective Dose)と呼ぶ。

今回開発したワット級の高出力深紫外 LED 小型ハンディ照射機

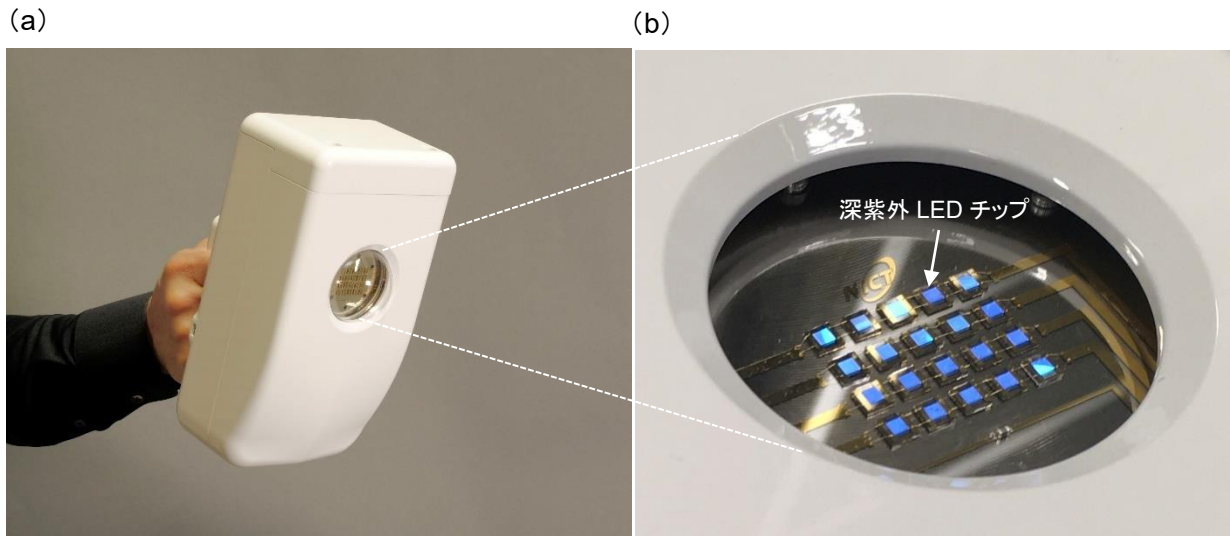


図 1 (a) 今回開発したワット級の高出力深紫外 LED 小型ハンディ照射機の外観
(b) 深紫外光照射部の拡大写真。高強度深紫外 LED 20 チップを高密度マルチチップ実装している。

高強度深紫外 LED 技術により、実装基板や駆動電源、バッテリーも含めて、全てを小型筐体内に収納し、どこにでも持ち運んで高出力の深紫外光を照射することが可能な小型ハンディ機を実現しました。

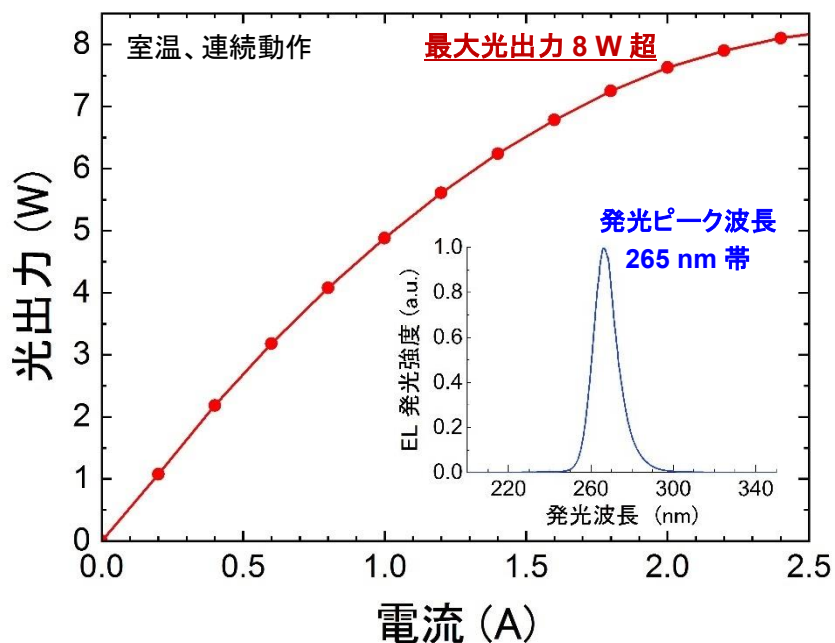


図 2 今回開発した深紫外 LED ハンディ照射機の光出力と発光波長特性

ワット級(8 W 超)の光出力を室温・連続動作下において達成しました。図 2 のグラフ横軸は 5×4 LED アレイの LED 1 チップに流れる電流値を示しています。挿入図に示すとおり、深紫外 LED ハンディ照射機の発光ピーク波長は最も殺菌性能の高い 265 nm 帯を示していることが分かります。

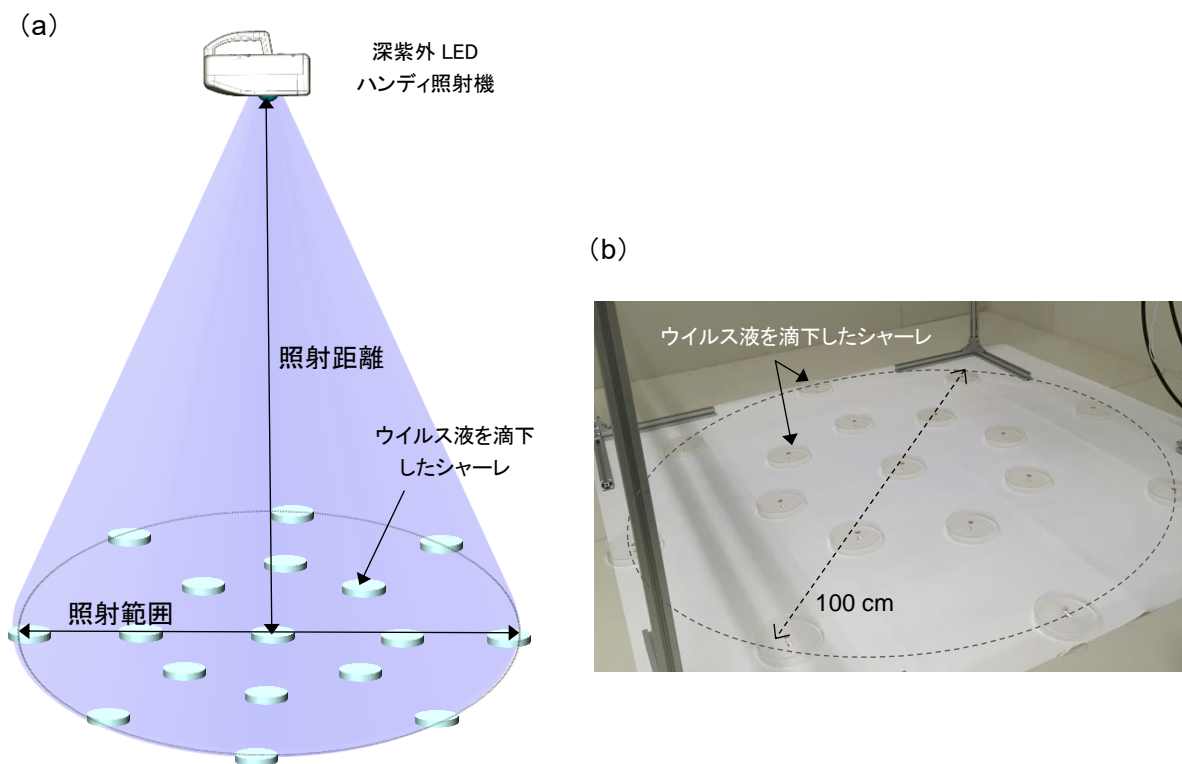


図3 深紫外LEDハンディ照射機を用いたウイルス不活性化試験の実験配置図

(a) ウイルス不活性化試験における照射配置の模式図

(b) 照射範囲φ100 cmの場合のウイルス配置の写真

深紫外LEDハンディ照射機から照射される深紫外光の照射範囲は、直径30 cmと直径100 cmの2条件で実施しました。照射距離は、照射範囲が直径30 cmの場合は20 cm、直径100 cmの場合は60 cmとしました。図3の写真は、直径100 cmの照射範囲内に豚コロナウイルス(PEDV)液を滴下した複数のシャーレを同心円状に均等に配置している様子を示しています。

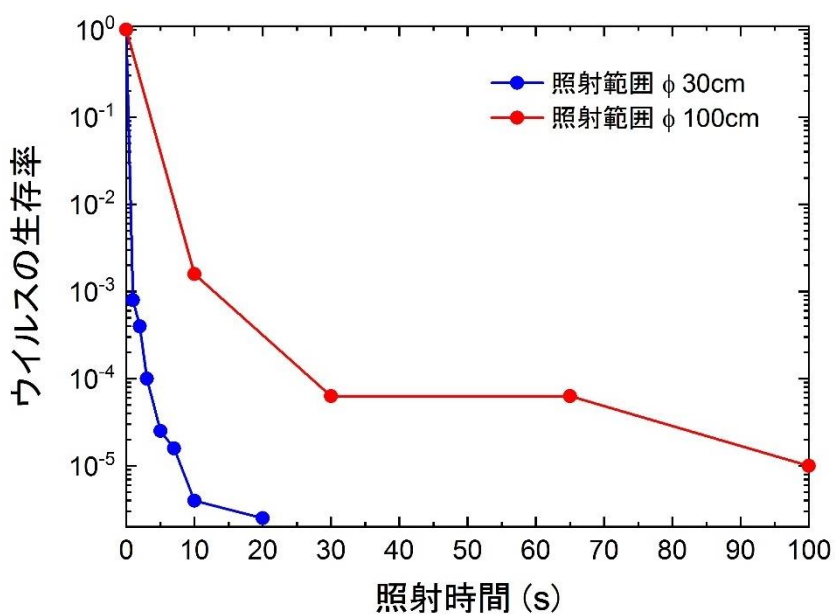


図4 深紫外光照射による豚コロナウイルス(PEDV)の不活性化効果

豚コロナウイルス(PEDV)液を滴下した複数のシャーレを直径 30 cm 及び直径 100 cm の範囲内に均等に配置して、深紫外 LED ハンディ照射機から深紫外光(光出力 5 W)を照射した直後に回収し、ウイルスカ価(感染性を有するウイルス量)を評価しました。図 4 の青丸は直径 30 cm の範囲内に照射した場合、赤丸は直径 100 cm の範囲内に照射した場合の深紫外光の各照射時間に対するウイルス生存率を示しています。

表 1 深紫外光照射時間と豚コロナウイルス(PEDV)の不活性化率との関係

		ウイルス不活性化率 (%)				
		90%	99%	99.9%	99.99%	99.999%
照射時間 (s)	照射範囲 Φ30cm	0.32	0.64	0.97	3.00	8.00
	照射範囲 Φ100cm	3.56	7.14	12.86	27.17	100.00

図 4 で得られた実験値から、今回開発した深紫外 LED ハンディ照射機を用いてウイルスを 90 %～99.999 %の各割合で不活性化するために必要な照射時間(秒)を算出しました、

ワット級光出力の 265 nm 帯深紫外 LED ハンディ照射機の開発に成功し、広範囲(直径 100 cm 内)のウイルスを非常に短い照射時間(30 秒以下)で 99.99 %以上不活性化できることを初めて実証しました(表 1 参照)。

これまでは、持ち運びできる高出力な小型照射機がなく、広範囲のウイルスを短時間で殺菌することは不可能で、利用可能なシーンは限られていましたが、本研究成果により、深紫外 LED を活用した殺菌応用の可能性が飛躍的に広がりました。NICT では、今後も、新しい深紫外光デバイス技術を通じた安心安全で持続可能な社会づくりへの貢献を目指し、更に研究を進めていきます。



図 5 今回開発したワット級の高出力深紫外 LED 小型ハンディ照射機の使用イメージ図

【今後の応用例】

今回開発したワット級の深紫外 LED 小型ハンディ照射機は、病室のベッドや医療器具、学校や介護施設、オフィスのデスクやドアノブ、トイレ、飲食店のテーブルやキッチン、鉄道車両や航空機内の座席や手すりなど、人が出入りし接触するあらゆる表面・空間を広い面積にわたって簡便・迅速に殺菌することが可能であり、幅広い用途における今後の活用、応用展開が期待されます。